

ANALISIS OPTIMASI PENGELOLAAN SUMBERDAYA AIR WADUK SERMO

Hary Budienny*, Fatchan Nurrochmad** dan Darmanto***

ABSTRACT

Sermo dam, which has been operated since 1997 was purposed to supply the water demand of Clereng, Pengasih and Pekikjamal irrigated areas, domestic water supply and flushing water of Wates town. Due to the operation failure, a review towards the dam operation is required in order to obtain an excellent performance on its operation system.

In this study, optimization method is applied using dynamic program. Water balance of the command area is presented on a mathematical model. The model consist of the objective function, the decision variable and constraint functions. The objective function is to minimize the deviation between the irrigation water supply and demand, with the decision variable of the reservoir releases on every stage. The constraint functions are the maximum and minimum condition of the dam capacity and releases.

The analysis result shows that the reservoir operation of Clereng, Pengasih and Pekikjamal irrigated area is in optimal condition on the first cultivation season of paddy-paddy-palawija pattern, which starts on November 23 – 25. The crop intensity is 258.2 % or equivalent to 10011 ha.

PENDAHULUAN

Waduk dibangun dengan tujuan untuk mengatur distribusi ketersediaan air guna memenuhi kebutuhan air pada suatu waktu dan tempat tertentu.

Pedoman pengelolaan operasi waduk perlu dirancang sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi kebutuhan air sesuai dengan target yang diharapkan.

Studi tentang operasi waduk diperlukan untuk memperoleh unjuk kerja yang tinggi sehingga pengelolaan air menjadi optimal. Ketidaktahuan dan ketidaktepatan dalam pengoperasian waduk akan berakibat gagalnya upaya pemanfaatan waduk secara optimal. Hal ini pernah terjadi di waduk Sermo yang mulai dioperasikan pertama kali pada bulan November 1997.

Waduk Sermo yang terletak di Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta dibangun dengan tujuan utama untuk mengatasi problem kekurangan air saat musim kemarau khusus di daerah layanannya, daerah irigasi Clereng, Pengasih dan Pekikjamal. Waduk Sermo dengan kapasitas tampungan sebesar 25 juta meter kubik diharapkan mampu memenuhi kebutuhan air irigasi, air baku dan penggelontoran kota Wates.

Studi ini dilaksanakan untuk membuat analisis model operasi waduk dari kaidah optimasi untuk pemenuhan kebutuhan daerah yang dilayani oleh

waduk dalam tinjauan sebuah sistem sumberdaya air sungai Serang.

TINJAUAN PUSTAKA

Teknik Optimasi dengan Program Dinamik

Sebagian besar permasalahan sumberdaya air yang erat kaitannya dengan operasi waduk adalah permasalahan untuk memperoleh hasil yang sebesar-besarnya dari pendayagunaan yang dilakukan (Istiarto, 1992).

Permasalahan ini dapat diselesaikan dengan teknik optimasi. Optimasi adalah suatu proses perhitungan untuk menentukan nilai variabel-variabel keputusan agar didapatkan nilai fungsi tujuan yang optimal dan memenuhi kendala-kendala yang ada (Masrevaniah dkk., 1995).

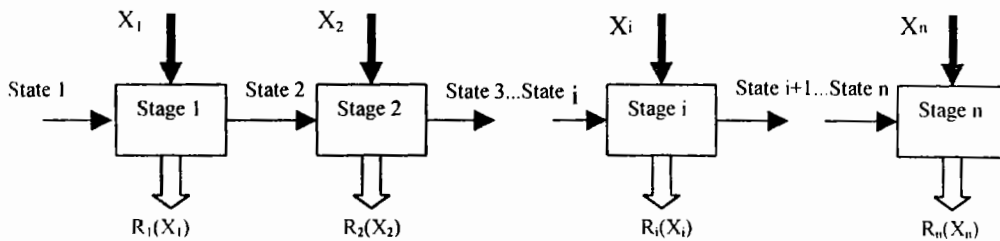
Ada beberapa teknik optimasi dalam model matematika, diantaranya adalah program dinamik. Konsep dasar program ini ditemukan pertama kali oleh *Richard Bellman* pada tahun 1957 (Jayadi, 1996).

Program dinamik merupakan suatu teknik hitungan yang mengandung rangkaian keputusan bertahap (*multi-stage decision making problem*). Model program dinamik secara umum dapat digambarkan sebagai berikut ini.

* Ir. Hary Budienny, MT., dosen Jurusan Teknik Sipil UNDIP

** Dr. Ir. Fatchan Nurrochmad, M.Agr., dosen Jurusan Teknik Sipil FT UGM

*** Ir. H. Darmanto, Dip.HE., M.Sc., dosen Jurusan Teknik Sipil FT UGM



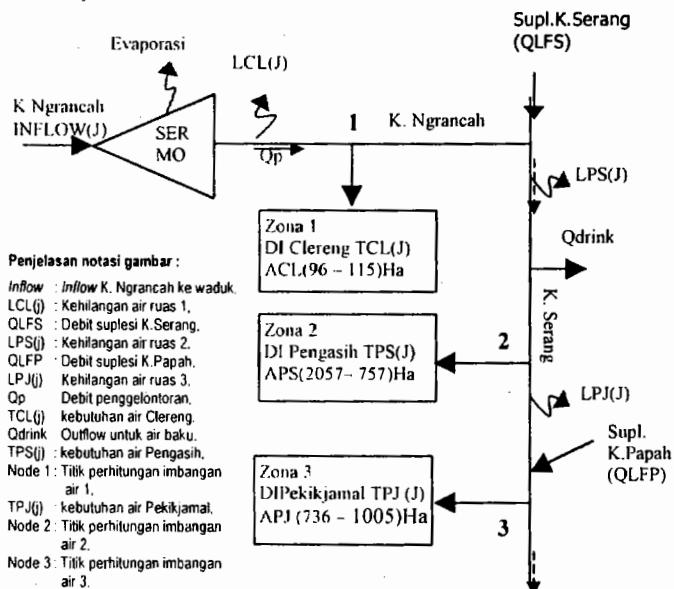
Keterangan : X_i = variable keputusan dalam hal ini adalah pelepasan waduk pada periode i.
 $R_i(X_i)$ = fungsi tujuan.
 n = tahap/stage

Gambar 1. Skema ilustrasi persoalan rangkaian keputusan bertahap
 Sumber : Jayadi, (1999)

Keputusan X_i diambil berdasarkan keadaan *state* i dengan hasil keluaran adalah $R_i(X_i)$. Rangkaian keputusan X_1, X_2, \dots, X_n untuk sejumlah n tahap (*stage*) harus memberikan hasil $R_1(X_1), R_2(X_2), \dots, R_n(X_n)$ yang optimal. Penyelesaian program dapat dilakukan dengan evaluasi mundur (*backward solution*) maupun maju (*forward solution*) atau dengan cara keduanya.

Deskripsi Sistem

Model optimasi ini disusun sesuai dengan karakteristik sistem di daerah studi, oleh karena itu diperlukan pemahaman terhadap karakteristik sistem di daerah penelitian. Gambar 2 berikut ini adalah deskripsi sistem di daerah studi.



Gambar 2. Skema sistem waduk dan jaringan irigasi di daerah studi

Perumusan Model

Pada penelitian ini diterapkan program dinamik deterministik. Perumusan model optimasi disusun berdasarkan konsep dasar yang telah dijabarkan di atas dan diaplikasikan ke dalam sistem di daerah studi dengan pendekatan sebagai berikut ini.

1. Fungsi Tujuan (objective function)

Pernyataan kuantitatif yang menjadi tujuan optimasi pada studi ini adalah meminimumkan penyimpangan relatif antara pelepasan dan kebutuhan air irigasi yang diekspresikan dalam persamaan 1.

$$\min \text{DEVQT} = \sum_{i=1}^{\text{NSEA}} |X_i - \text{Target}_i| / \text{Target}_i, \dots, 1)$$

dengan :

DEVQT = fungsi tujuan = jumlah penyimpangan relatif antara ketersediaan dan kebutuhan pada periode i ,

X_i = pelepasan (*release*) waduk pada periode i ,

Target i = kebutuhan air pada periode i ,

i = urutan periode operasi waduk,

NSEA = banyaknya periode yang ditinjau (24 periode pertahun sepanjang 5 tahun).

2. Fungsi transformasi keadaan (*state transformation function*)

Fungsi transformasi keadaan diekspresikan sebagai keadaan (*state*) tampungan waduk yang menghubungkan satu tahap dengan tahap berikutnya seperti ditulis dalam persamaan berikut ini.

$$S_{i+1} = S_i + I_i - X_i - E_i - SP_i, \dots, 1)$$

dengan :

S_{i+1} = volume tampungan waduk pada awal periode $i+1$

S_i = volume tampungan waduk pada awal periode i

I_i = inflow waduk pada periode i

X_i = pelepasan (*release*) waduk pada periode i

E_i = penguapan waduk pada periode i

SP_i = limpasan waduk pada periode i

3. Fungsi Kendala (*constraint*)

Fungsi kendala merupakan faktor pembatas. Pada studi ini fungsi kendala diformulasikan seperti ditunjukkan persamaan 3 dan 4.

a. Tampungan waduk

Tampungan waduk mempunyai batas bawah volume mati, dan batas atas kapasitas maksimum tampungan waduk, atau secara matematis ditulis:

$$S_{min} \leq S_i \leq S_{max} \dots\dots\dots 3)$$

dengan :

S_{min} = volume tampungan waduk minimum (3.1 juta m^3),

S_i = volume tampungan waduk pada awal periode i ,

S_{max} = volume tampungan waduk maximum (25.0 juta m^3).

b. Pelepasan

Batas pelepasan air waduk diekspresikan dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$X_{min} \leq X_i \leq X_{max} \dots\dots\dots 4)$$

$$X_{min} \geq 0.16 \dots\dots\dots 5)$$

dengan :

X_{min} = pelepasan minimum waduk pada periode i , merupakan untuk pelepasan pengelontoran (160 l/detik),

X_i = pelepasan waduk pada periode i
 X_{max} = pelepasan maximum waduk pada periode i = kapasitas maksimum outlet = $8.27 \text{ m}^3/\text{det}$

5. Persamaan Rekursif (*recursive equation*)

Untuk mengevaluasi setiap nilai pelepasan waduk yang layak ditetapkan, hubungan antara keluaran setiap 2 periode berurutan dapat dirumuskan dengan persamaan rekursif sebagai berikut :

$$f_i(S_i) = \min [R_i(S_i, X_i) + f_{i+1}(S_{i+1})] \dots\dots\dots 6)$$

dengan :

$f_i(S_i)$ = nilai minimum dari penyimpangan relatif antara pelepasan dan target yang dapat dicapai sampai operasi akhir periode i ,

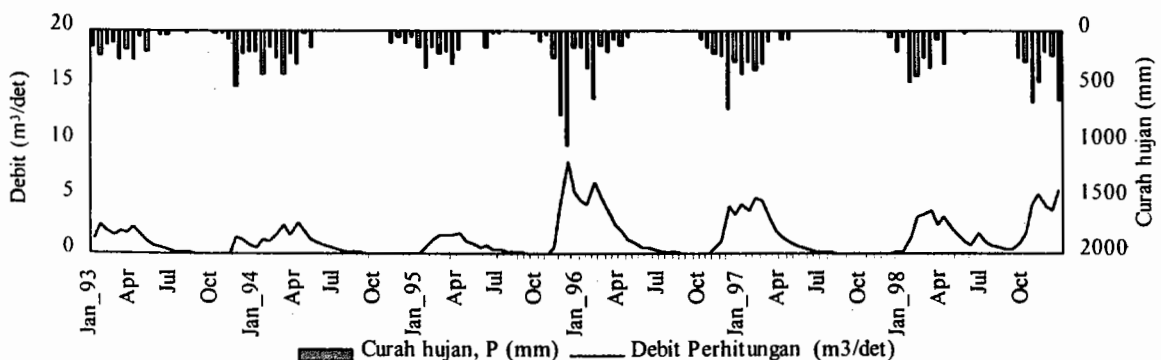
$R_i(S_i, X_i)$ = selisih antara pelepasan dan target,

$f_{i+1}(S_{i+1})$ = nilai minimum dari penyimpangan relatif antara pelepasan dan target sampai akhir periode $i+1$.

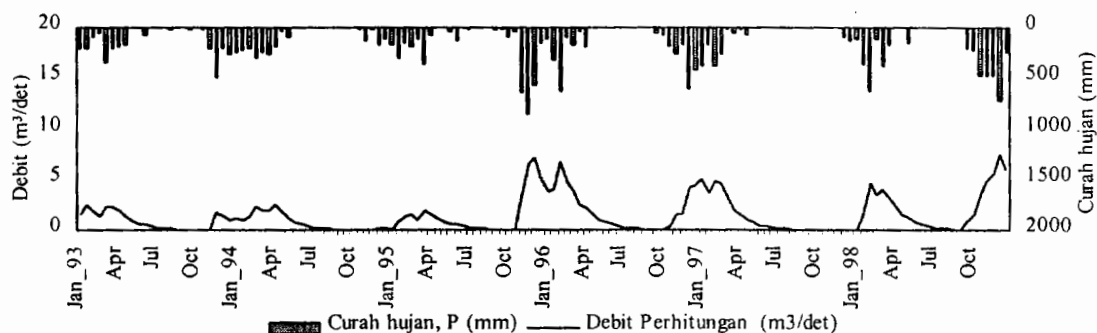
HASIL PENELITIAN

Ketersediaan Sumberdaya Air

Potensi sumberdaya air di daerah studi terdiri atas inflow dari waduk Sermo, suplesi Kali Serang dan suplesi Kali Papah. Inflow ke waduk dihitung berdasarkan pengalihragaman hujan-aliran dengan model Mock. Periode hitungan setengah bulanan dengan simulasi dimulai tanggal 1, 16, 1 dan seterusnya dan digeser 1 minggu atau dimulai tanggal 8, 23, 8, dan seterusnya. Hasil analisis ditampilkan pada gambar grafik di bawah ini.

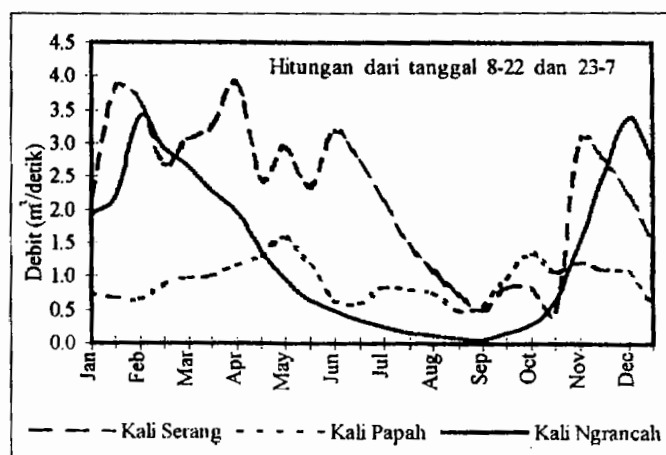
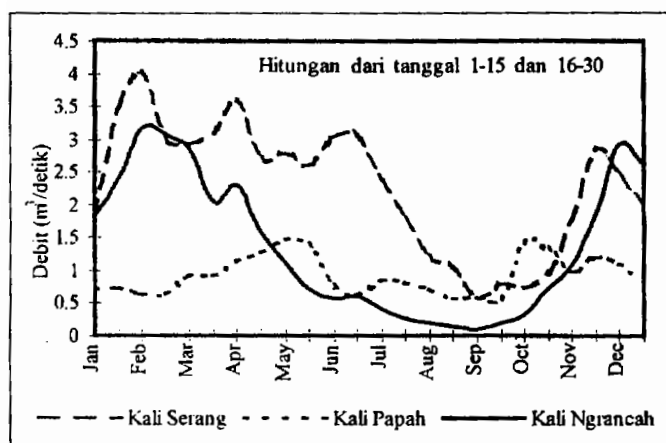


Gambar 3. Grafik inflow K.Ngrancah dengan simulasi dimulai tanggal 1



Gambar 4. Grafik inflow K.Ngrancah dengan simulasi dimulai tanggal 8

Debit suplesi K.Serang (QLFS) dan K.Papah (QLFP) didasarkan pada rerata data debit harian. Hasil hitungan debit rerata ketersediaan air digambarkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 5. Grafik Debit rerata K.Serang, K.Papah dan K.Ngrancah.

Kebutuhan Air

Kebutuhan air yang dimaksud dalam studi ini adalah kebutuhan untuk air irigasi, air minum dan

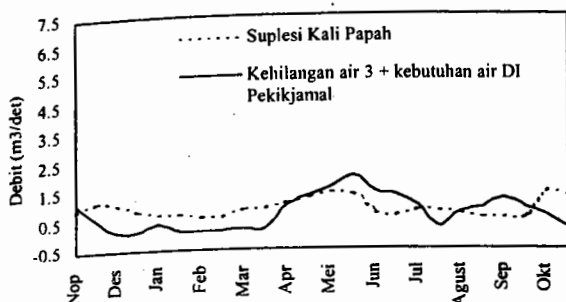
penggelontoran kota Wates. Perhitungan air irigasi sesuai pola tanam padi - padi - palawija. Faktor-faktor yang mempengaruhi kebutuhan air irigasi adalah penggunaan air konsumtif, penggunaan air untuk penyiapan lahan, penggantian lapisan air, perkolasi, curah hujan efektif, luas areal irigasi dan efisiensi irigasi. Kebutuhan air air baku dan penggelontoran ditentukan masing-masing sebesar 130 liter/detik dan 160 liter/detik

Adanya proses penguapan dan rembesan menyebabkan terjadinya kehilangan air yang sulit ditentukan secara pasti. Kehilangan air merupakan fungsi dari debit, jarak saluran dan suatu koefisien kehilangan air.

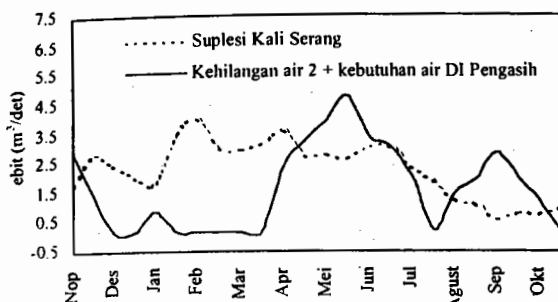
Nilai kebutuhan air dari waduk dicari dengan melakukan hitungan imbalan air dengan meninjau pada masing-masing subsistem tata air yang dimulai dari bagian hilir ke hulu atau dari titik 3 ke titik 1. Perhitungan imbalan air dapat diuraikan sebagai berikut ini (lihat gambar 2).

- Imbalan air sub-sistem Pekikjamal (titik 3) didasarkan pada debit rerata suplesi Kali Papah kebutuhan air daerah irigasi Pekikjamal dan kehilangan air dari waduk sampai titik 3 (LPJ).
- Imbalan air berikutnya yaitu sub-sistem Pengasih (titik 2), didasarkan pada kebutuhan air di daerah irigasi Pengasih, suplesi Kali Serang dan kehilangan air dari waduk sampai ke titik 2 (LPS).
- Imbalan air terakhir adalah di sub-sistem Clereng (titik 3), didasarkan pada debit aliran waduk kekurangan air di sub-sistem Pekikjamal dan Pengasih, kebutuhan air daerah irigasi Clereng dan kehilangan air dari waduk ke sub-sistem Clereng (LCL).

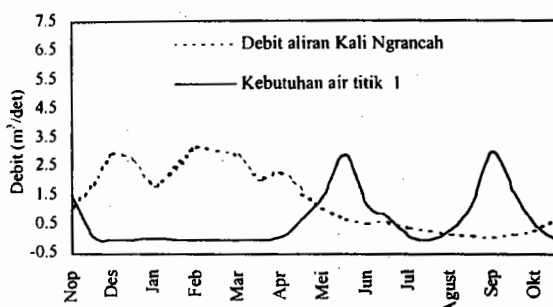
Analisis imbalan air alternatif 1 dimulai dengan awal masa tanam I pada 1 November, alternatif selanjutnya waktu masa tanam I digeser tiap 7 hari. Hasil analisis imbalan air alternatif 1 disajikan pada gambar 6, 7 dan 8.



Gambar 6. Imbangan air titik 3
Awal masa tanam I : 1 November



Gambar 7. Imbangan air titik 2
Awal masa tanam I : 1 November



Gambar 8. Imbangan air titik 1
Awal masa tanam I : 1 November

Analisis Optimasi Operasi Waduk

Penerapan analisis optimasi program dinamik dilakukan dengan penyesuaian sebagai berikut.

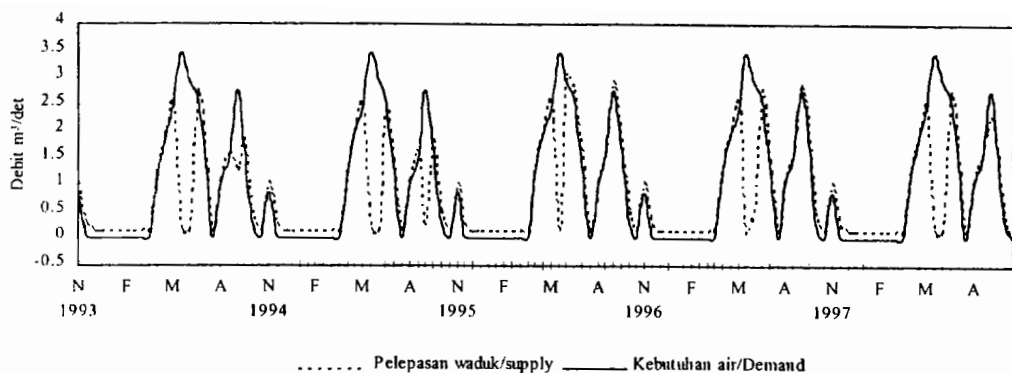
1. Tahap berupa waktu tengah bulanan.
2. Optimasi dihitung sepanjang data tersedia yaitu 5 tahun atau 120 tahap.
3. *State* berupa volume air yang ada di waduk.
4. Prosedur perhitungan dilakukan dengan diskritisasi unit-unit dari variabel-variabel berikut ini :
 - a. *state* tampungan air waduk dengan diskrit 1%,
 - b. volume debit pelepasan waduk per tahap dengan diskrit 1%.

5. *State return* dirumuskan sebagai fungsi tujuan berupa nilai penyimpangan relatif dari pelepasan dan target kebutuhan air.

Penyelesaian program dinamik untuk operasi waduk dilakukan dari tahap akhir (untuk alternatif 1 pada bulan Oktober) bergerak menuju ke tahap awal (November) atau dengan (*backward solution*) dan kemudian dilanjutkan dengan penyelesaian maju dari tahap awal ke tahap akhir (*forward solution*). Hasil perhitungan yang diperoleh adalah keputusan optimal pada setiap tahap pada masing-masing keadaan (*state*) yang mungkin terjadi. Dengan persamaan 1 sampai persamaan 7 dilakukan perhitungan optimasi dengan langkah-langkah sebagai berikut ini.

- a. Proses *backward solution* dimulai dari tahap (*stage*) bulan Oktober bergerak mundur ke arah tahap bulan November.
- b. Setiap kombinasi pasangan keadaan (*state*) volume tampungan dan nilai variabel keputusan dari tahap akhir sampai tahap awal dihitung nilai *return*nya pada tahap tersebut dengan persamaan 1.
- c. Nilai *return* tahap ke *i* ditambah dengan nilai optimal *return* dari tahap sebelumnya (jika ada) dengan persamaan 7.
- d. Semua nilai *return* untuk keadaan (*state*) volume tampungan waduk dan variabel keputusan tahap tertentu ditentukan nilai *return* yang paling optimum (minimum).
- e. Proses *backward solution* menghasilkan nilai keadaan (*state*) volume tampungan dan pelepasan waduk optimal yang sudah dievaluasi terhadap kendala yang ada (persamaan 3, 4, 5 dan 6).
- f. Selanjutnya dilakukan proses *forward solution* dengan menentukan keadaan (*state*) volume tampungan pada tahap awal. Dari keadaan (*state*) tampungan yang telah ditentukan tersebut dapat diketahui pula variabel keputusannya. Dan kemudian check kembali terhadap persamaan 2. Perhitungan ini dilanjutkan sampai ke tahap akhir.
- g. Hasil analisis dari program adalah nilai keadaan (*state variable*) volume tampungan waduk, variabel keputusan optimal serta besarnya *return* yang terjadi yang merupakan besarnya penyimpangan relatif antara pelepasan dan target kebutuhan air irigasi untuk tiap tahap.

Pada analisis ini waktu yang ditinjau selama 120 tahap atau 5 tahun dan dihitung nilai penyimpangan relatif rerata selama periode tinjauan tersebut. Gambar 9 menunjukkan grafik hasil analisis optimasi operasi waduk dengan awal masa tanam I pada tanggal 1 November.



Gambar 9. Grafik pelepasan dan kebutuhan air alternatif 1.

Hitungan dilanjutkan dengan melakukan simulasi waktu awal masa tanam I yang digeser tiap 7 hari. Hasil simulasi awal masa tanam I ditunjukkan pada tabel 1.

Berdasarkan hasil optimal simulasi awal masa tanam I, analisis dilanjutkan dengan mencoba beberapa alternatif luas lahan guna mendapatkan nilai intensitas tanam dan luas lahan optimal. Hasil simulasi luas lahan disajikan pada tabel 2.

Gambar 10 menunjukkan hasil optimasi operasi waduk dengan awal masa tanam I pada 23 November setelah dilakukan simulasi luas lahan.

Tabel 1. Hasil Simulasi Awal Masa Tanam I

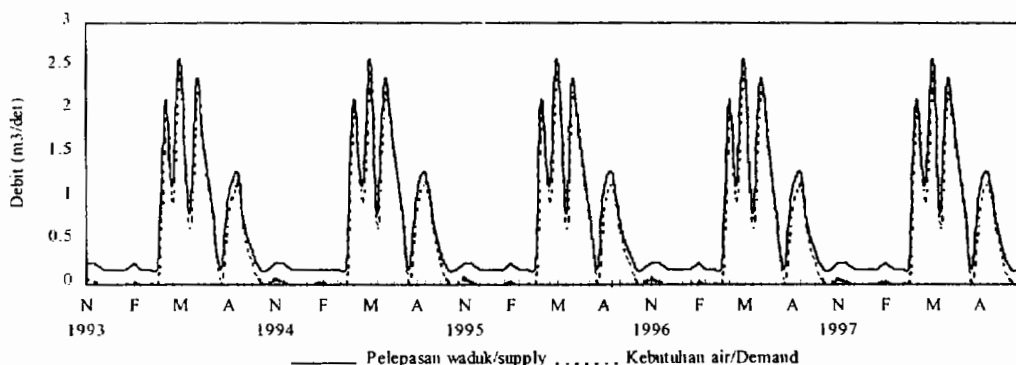
Alternatif	Waktu Masa Tanam I	Penyimpangan Relatif antara Pelepasan dan Target Kebutuhan Air Irigasi Minimum rata-rata
1	1-Nov	11.821%
2	8-Nov	6.191%
3	16-Nov	4.061%
4	23-Nov	3.078%
5	1-Dec	6.315%
6	8-Dec	7.759%
7	16-Dec	7.775%
8	23-Dec	10.164%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 2. Hasil Optimasi Luas Lahan

Alt	Luas Lahan tiap Masa Tanam dan tiap Daerah Irigasi									Luas per MT			Luas Total	Crop Intensity	Dev.
	MT I			MT II			MT III			I	II	III			
	CL	PS	PJ	CL	PS	PJ	CL	PS	PJ						
1	96	2057	736	96	2057	736	96	2057	736	288	6171	2208	8667	223.55	3.078
2	115	2757	1005	96	2057	736	96	2057	736	307	6871	2477	9655	249.00	3.045
3	115	2757	1005	96	2057	736	115	2057	1005	326	6871	2746	9943	256.00	2.857
4	115	2757	1005	100	2057	800	115	2057	1005	330	6871	2810	10011	258.22	2.725
5	115	2757	1005	105	2057	825	115	2057	1005	335	6871	2835	10041	258.99	3.759
6	115	2757	1005	105	2057	850	115	2057	1005	335	6871	2860	10066	260.79	3.859
7	115	2757	1005	100	2057	900	115	2057	1005	330	6871	2910	10111	260.79	4.599
8	115	2757	1005	115	2057	1005	115	2057	1005	345	6871	3015	10231	284.00	6.059

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 10. Grafik pelepasan waduk dan kebutuhan air optimal

PEMBAHASAN

Ketersediaan Air

Hasil pengalihragaman hujan aliran debit K.Ngrancah cukup realistis jika dilihat terhadap curah hujan yang terjadi. Namun karena hanya dikalibrasi terhadap data debit terukur sepanjang 1 tahun, maka ketepatan analisis dapat berkurang. Analisis ketersediaan air K.Serang dan K.Papah yang didapat berdasarkan nilai rerata data debit harian dengan data \pm sepanjang 2 tahun mengakibatkan karakteristiknya belum dapat diketahui dengan jelas. Dari hasil hitungan rerata menunjukkan bahwa debit K.Serang merupakan debit dominan bagi daerah irigasi Pengasih dan Pekikjamal.

Kebutuhan Air

Hasil analisis imbalan air alternatif 1 (gambar 6) menunjukkan pada imbalan air titik 3, kekurangan air terjadi pada masa tanam II dan III. Imbalan air pada titik 2 menunjukkan keadaan yang sama dengan di titik 3 (gambar 7), sedangkan berdasarkan imbalan air di titik 1 (gambar 8) menunjukkan kebutuhan air dari waduk terjadi pada bulan November, Mei, Juni dan September. Secara kuantitatif antara ketersediaan air dan kebutuhan air dari waduk (berdasarkan hasil imbalan air titik 1) pada kondisi seimbang, sehingga jika dilakukan optimasi diharapkan target operasi waduk optimal akan tercapai.

Analisis Optimasi Operasi Waduk

Pada optimasi operasi waduk dengan awal masa tanam I pada 1 November penyimpangan relatif antara pelepasan dan kebutuhan air rerata sama dengan 11.821 % atau jika waduk dioperasikan sesuai dengan kondisi tersebut maka akan terjadi kegagalan pada masa tanam II dan III (gambar 9). Hal ini seperti terjadi pada operasi waduk pada tahun 1997. Optimasi selanjutnya dengan menggeser awal masa tanam I tiap 7 hari. Waktu 7 hari merupakan pertimbangan waktu yang terbaik karena akan didapat perubahan hasil yang cukup signifikan dibandingkan jika pergeseran waktu 15 hari atau 3-4 hari. Dari 8 alternatif yang dilakukan hasilnya menunjukkan awal masa tanam I pada 23 November merupakan nilai paling optimal dengan penyimpangan relatif rerata sama dengan 3.078%.

Tabel 2. menunjukkan hasil simulasi luas lahan. Nilai penyimpangan relatif rerata minimum yang

terjadi = 2.725 %, dengan intensitas tanam yang dicapai = 258.2% atau luas lahan total = 10011 ha selama 1 tahun. Gambar 10 menunjukkan hampir tidak ada penyimpangan antara pelepasan dan kebutuhan air selama periode 5 tahun data atau dari hasil analisis terlihat kebutuhan air akan selalu terpenuhi.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini.

1. Setelah dilakukan analisis optimasi direkomendasikan awal masa tanam I sebaiknya dimulai pada 23 November, karena akan memberikan hasil kenaikan intensitas tanam sebesar 258.2%, atau luas lahan 10011 ha selama 1 (satu tahun) dengan hasil penyimpangan relatif antara pelepasan waduk dan target kebutuhan air = 2.725%.
2. Hitungan optimasi pada penelitian ini dilakukan melalui pendekatan prinsip deterministik yang mengasumsikan bahwa peristiwa hidrologi yang terjadi seperti hujan, debit, evaporasi dan lainnya, merupakan nilai yang tetap dan akan terulang pada masa sesudahnya. Sementara itu fenomena alam menunjukkan bahwa peristiwa yang terjadi tidak demikian, karena nilai-nilai data itu sifatnya probabilistik. Hal ini merupakan kelemahan dari model deterministik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Dr.Ir.Rachmad Jayadi, M.Eng., yang telah memberikan masukan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Istiarto, 1992, "*Studi Optimasi Operasi Reservoir Pembangkit listrik*", Laporan Penelitian, Fakultas Teknik UGM, hal 7 – 18.
- Jayadi, R., 1996, "*Pemodelan Alokasi Air untuk Pengelolaan Air pada Satu Satuan Wilayah Sungai*", Laporan Penelitian, Fakultas Teknik UGM, hal. 22 – 59.
- Masrevanah, A., Soetopo, W., dan Montarich, L., 1995, "*Optimasi Energi Listrik Sistem Basin Serayu dengan Program Dinamik*", Makalah Seminar HATHI, Surabaya.